

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА

Михайлова Н.Н. Комаров И.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Проведено исследование спектральных характеристик сейсмического шума для сейсмических групп PS23-Маканчи, Каратау, Акбулак, AS057-Боровое и новой трехкомпонентной станция AS059-Актюбинск. Получены модели спектральной плотности шума для дневных и ночных периодов времени и вариации значений спектральной плотности. Для всех станций характерны шумы, близкие к нижеуровневой мировой модели шума, что определяет их высокую эффективность при сейсмическом мониторинге. Отдельно изучена зависимость параметров шума в зависимости от условий установки сейсмоприемников. На примере трех станций (PS23-Маканчи, AS057-Боровое, AS059-Актюбинск) показан характер изменения спектральной плотности шума после установки сейсмометров в скважины.

ВВЕДЕНИЕ

В течение десятилетия 1996-2006 гг. казахстанская система сейсмического мониторинга ядерных испытаний, являющаяся частью глобальной системы контроля за возможными ядерными испытаниями, получила значительное развитие. Введены в строй новые сейсмические группы PS23-Маканчи, Каратау, Акбулак, AS057-Боровое, установлена трехкомпонентная станция AS059-Актюбинск (рисунок 1). Как показал опыт эксплуатации, все станции являются высокочувствительными и обеспечивают эффективную регистрацию событий как на региональных, так и на телесеismicических расстояниях.

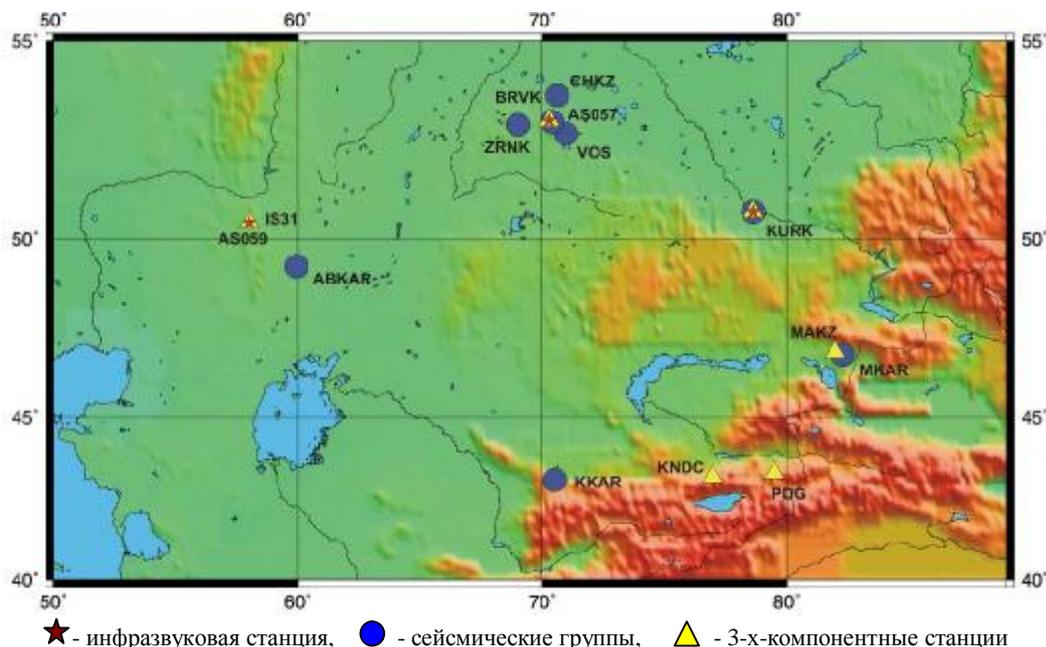


Рисунок 1. Схема расположения станций НЯЦ РК на территории Казахстана

Одним из важнейших технических критериев эффективности работы станций мониторинга является уровень сейсмического шума. Его исследования проводят на разных этапах создания и работы станций, например, при выборе площадок под строительство, при обосновании апертуры сейсмических групп [1]. Во время эксплуатации станций модели шума и его вариаций исследуют для повышения эффективности обработки сейсмических данных. Кроме того, периодически, в связи с изменяющейся обстановкой в районе расположения станций отслеживается динамика изменения характеристик шума, что может помочь выявить дополнительные шумы на определенных частотах, связанных, например, с какими-либо промышленными производствами. Важным аспектом изучения шума является мониторинг состояния регистрирующих каналов, который используется в некоторых Международных центрах данных. Однако для этого необходимо предварительное тщательное изучение параметров сейсмического шума по каждой станции, создание реальной модели шума и его естественных вариаций. Последующий постоянный расчет кривых шума, сравнение их с моделями обеспечивают выявление изменений, связанных с возникающими аппаратными проблемами и способствует оперативному устранению неполадок.

Применительно к сейсмическим станциям НЯЦ РК первый цикл исследования шумов был рожден в 1998 – 2000 гг. в связи с установкой на территории Казахстана первых цифровых сейсмических станций, в основном трехкомпонентных наземных [2, 3]. Затем шумы изучались в связи с созданием новых сейсмических групп и модернизации трехкомпонентных станций [1, 4, 5]. Настоящая работа продолжает исследования сейсмического шума применительно к разработке метода автоматизированного контроля за работой технических систем станций. С этой целью проведено:

- Изучение спектральных моделей шума по станциям сети НЯЦ РК.
- Изучение вариаций шума, в том числе, отдельно для дневного и ночного шума.
- Сравнение характеристик шума по наземным и скважинным станциям.

Исследования были распространены практически на все сейсмические группы и станции сети НЯЦ РК, перечень которых и некоторые данные о которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные о станциях НЯЦ РК, для которых проведено изучение сейсмических шумов

Код станции	Название станции	Тип сейсмометра	Частотный диапазон, Гц	Место установки
АКТ	Актюбинск	СМГ-3	0,03-50,0	поверхность, бункер
МАКЗ (IRIS/GSN)	Маканчи	СМГ-3	0,03-50,0	штольня
VOS	Восточное	STS-2	0,008-45,0	шахта
CHK	Чкалово	STS-2	0,008-45,0	шахта
ZRN	Зеренда	STS-2	0,008-45,0	шахта
MKAR	PS23-Маканчи	KS54000	0.003-16	скважина

KKAR	Каратау	KS54000	0.003-16	скважина
ABKAR	Акбулак	KS54000	0.003-16	скважина
KURK (IRIS-IDA)	Курчатов	STS-1	0,0027 – 5	шахта
BRVK(IRIS-IDA)	Боровое	STS-1	0,0027 – 5	шахта
BVAR-	AS057-Боровое	CMG -3TB	0,0027 – 5	скважина
AKTO-	AS059-Актюбинск	CMG -3TB	0,0027 – 5	скважина

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ШУМА ПО СТАНЦИЯМ СЕТИ НЯЦ РК

Для получения спектральной модели шума использовались экспериментальные данные (сейсмические записи) за 2003 -2004 гг. По каждой станции создавались выборки из не менее 20 фрагментов сейсмических записей длиной по 30 минут. Отдельно формировались данные для изучения дневного и ночного шума. Дневным периодом считалось местное время от 7 до 19 часов, ночным – от 19 до 7 часов. Анализируются отдельно записи по каждой компоненте широкополосных станций, входящих в состав сейсмических групп. В данной работе приведены результаты оценки параметров шумов только по вертикальной компоненте широкополосных трехкомпонентных станций.

Для расчета спектральной плотности сейсмического шума применялась методика, ранее использованная в [1-5], и основанная на применении программы POWER, любезно предоставленной сотрудником LDEO (Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University) Вон-Янг Кимом. На вход программы подавались записи, скорректированные за характеристики приборов. В результате расчетов отдельно для каждой станции, каждой компоненты, для дня и ночи были получены наборы спектральных кривых сейсмического шума. Примером может служить рисунок 2, где приведены все кривые спектральной плотности вертикальной компоненты сейсмического сигнала, регистрируемого станцией Каратау по дневным фрагментам записей. Максимальный разброс значений уровня шума наблюдается в диапазоне периодов 0,06 с-0,8 с и может достигать 15 - 18 дБ. По полученным данным оценен наиболее вероятный спектр сейсмического шума в изучаемом диапазоне периодов. Для этого для каждого периода построены и проанализированы распределения значений уровня шума. В качестве параметров каждого распределения рассматривались медиана и перцентили (85% и 15%). Затем по медианам распределений построен спектр, который и принимался за модель шума по данной станции (рисунок 3). Модели получены отдельно для дневных и ночных шумов.

На рисунках 4 и 5 показаны резульативные графики спектральной плотности (медианные спектры) для станций KKAR, MKAR, ABKAR, BVAR и AKTO (таблица 1), сейсмометры которых расположены в скважинах. Здесь же показаны мировые модели шума (нижнеуровневая и верхнеуровневая) [6].

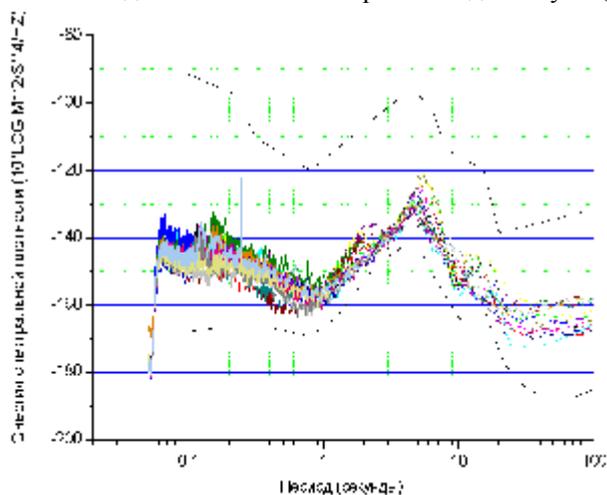


Рисунок 2. Спектральные кривые сейсмического шума. Станция Каратау. Вертикальная компонента. Дневное время

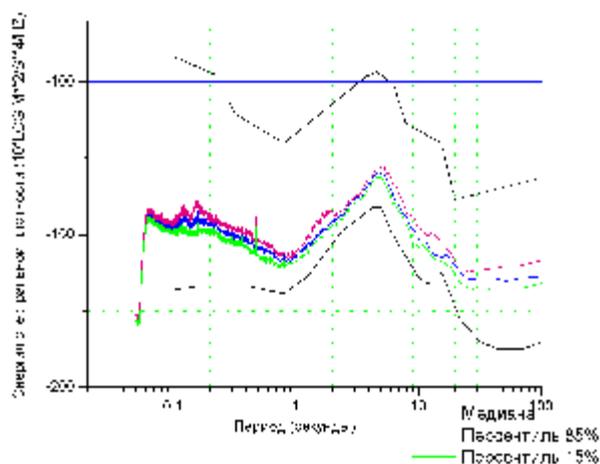


Рисунок 3. Медианный спектр сейсмических шумов и границы 70%-ого интервала вариаций. Станция Каратау. Дневное время

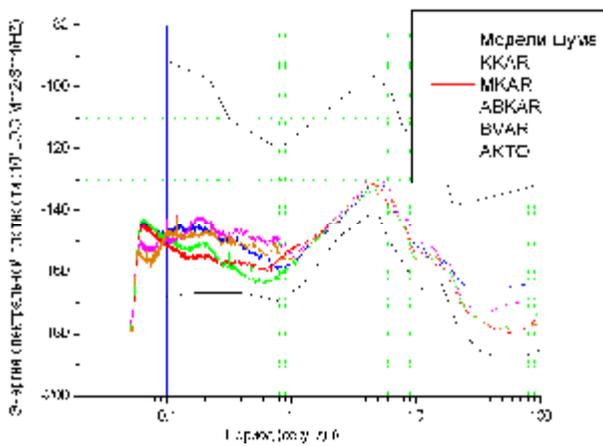


Рисунок 4. Сопоставление дневных спектров сейсмического шума по станциям сети НЯЦ РК

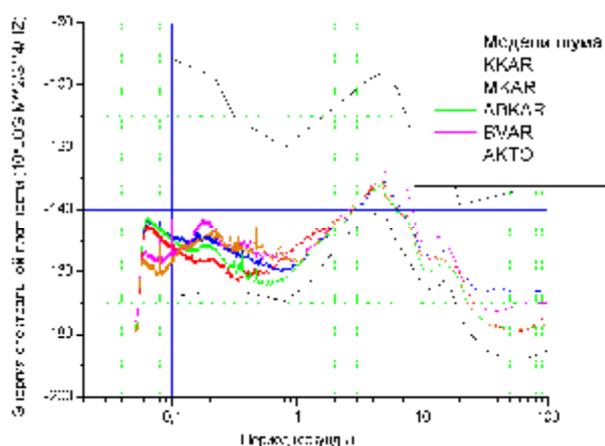


Рисунок 5. Сопоставление ночных спектров сейсмического шума по станциям НЯЦ РК

Как видно из рисунков 4 5, спектральные кривые сейсмического шума всех станций НЯЦ РК тяготеют к нижнеуровневой модели сейсмического шума. Проявляются общие закономерности изменения уровня шума с ростом периодов колебаний, свойственные всем станциям мира - положение глобальных экстремумов на спектрах в области 5 с, около 20 с, общий минимум в области 1 с. Различие в спектрах станций НЯЦ РК проявляется в основном в высокочастотной области (менее 1 с). Причем это различие в большей степени характерно для дневных шумов и достигает 16дБ. На периодах более 1 с вплоть до 20 с все спектры характеризуются практически одинаковым уровнем.

Наиболее низким уровнем шумов в большей части диапазона периодов характеризуются станции PS23-Маканчи и Акбулак. Несколько более «шумными» являются станции Каратау, AS059-Актюбинск, AS057-Боровое. То, что минимальным уровнем шума отличаются сейсмические группы Акбулак и PS23-Маканчи, не удивительно. Площадки расположения этих станций находятся вдалеке от населенных пунктов и промышленных предприятий, тщательно выбраны на основе специальных геологических и инструментальных исследований.

ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА СТАНЦИЙ НЯЦ РК

Качество станций по характеристикам шума определяется не только уровнем шума, но и его вариациями. Хорошая станция должна характеризоваться низким уровнем шума в «рабочем» диапазоне периодов и небольшим разбросом уровня шума вследствие естественных вариаций. Одной из главных составляющих вариаций являются суточные вариации. В качестве характеристик суточных вариаций были рассмотрены: во-первых, различие уровней спектральной кривой между дневным и ночным медианными спектрами, во-вторых, диапазон естественных вариаций спектральных кривых дневных шумов и ночных шумов. На рисунке 6 дано сравнение медианных спектров для дня и ночи по двум станциям сети.

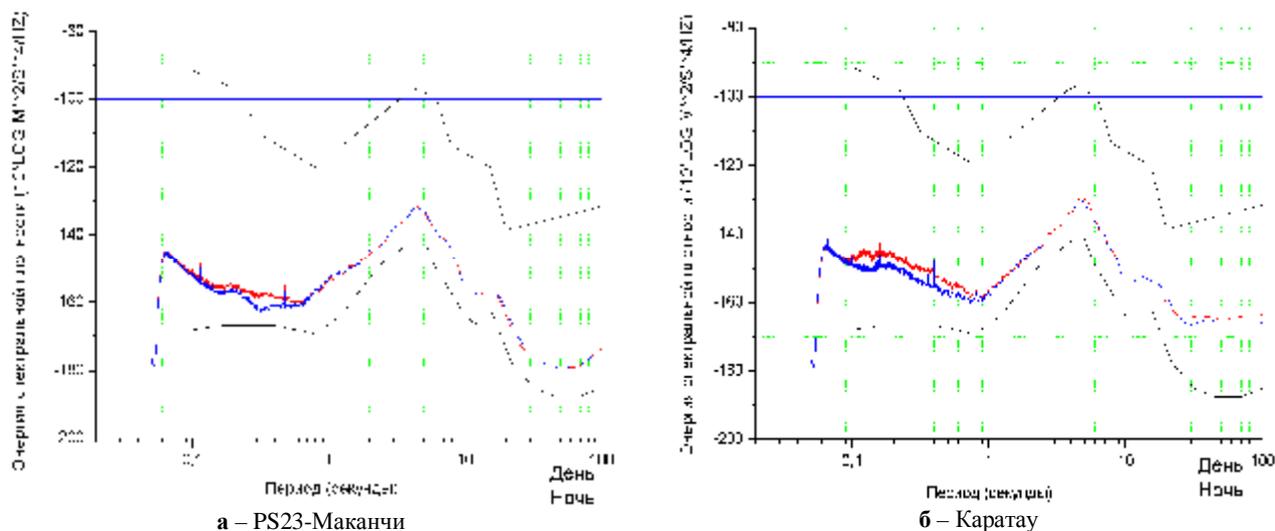


Рисунок 6. Спектральные кривые сейсмического шума для дня и ночи по станциям

Как правило, ночные спектры характеризуются более низким уровнем, чем дневные, в высокочастотной области. Из рисунка 6 видно, что в целом суточные вариации по медианным спектрам для дня и ночи незначительны. В таблице 2 приведена разница в уровнях дневных и ночных спектров на четырех дискретных периодах в области $T \leq 1$ с.

Видно, что разница в уровнях – величина, зависящая от частоты, причем проявляющаяся по-разному на разных станциях. Все станции НЯЦ РК характеризуются небольшими вариациями шумов в течение суток. Это связано в значительной степени с тем, что все сейсмоприемники находятся в скважинах, влияние местных поверхностных шумов снижается. Среди станций наиболее стабильная – станция Акбулак. В таблице 3 приведены диапазоны 70%-ых естественных вариаций дневного и ночного шума на тех же четырех дискретных периодах.

Из таблицы 3 также видно, что станция Акбулак - одна из лучших по рассматриваемому показателю. Однако следует отметить, что вариации невелики на всех станциях - максимальные значения 70%-ого диапазона составляют всего 8 дБ.

Полученные модели сейсмического шума использованы для контроля за правильностью работы аппаратуры на станциях путем сравнения рассчитываемых частотных зависимостей с диапазоном «нормальных» вариаций сейсмического шума в пределах выбранного доверительного интервала. На рисунке 7 приведен пример выявления неполадок на станции AS057- Боровое.

Таблица 2. Разности значений уровней спектральной плотности сейсмического шума дневных и ночных медианных спектров (в дБ)

Период, сек	АВКАР	АКТО	ВВАР	ККАР	МКАР
0.1	0.55	8.50	2.47	1.88	1.33
0.3	0.03	0.12	3.66	2.95	4.09
0.5	1.28	0.34	6.37	2.00	2.42
1	0.41	0.53	1.96	0.19	0.18

Таблица 3. Диапазон вариаций дневного (красный цвет) и ночного (синий цвет) шума в пределах 70%-ого интервала значений уровней (в дБ)

Период, сек	АВКАР	АКТО	ВВАР	ККАР	МКАР
0.1	2.80	5.62	7.34	3.02	3.04
	1.42	6.26	3.09	2.82	3.89
0.3	1.57	2.73	5.73	3.87	3.82
	2.35	4.20	2.57	4.29	4.34
0.5	2.62	2.79	6.71	4.57	3.75
	2.71	8.07	3.95	6.31	4.39
1	1.81	2.58	4.95	2.97	7.22
	3.26	2.20	3.35	3.78	7.10

Здесь показано, как с определенного времени изменились спектральные кривые шума - резко отклонились от модельной кривой и ушли за пределы нижеуровневой модели шума. Это однозначно свидетельствовало о возникших проблемах в работе аппаратуры, что подтвердилось при проверке сейсмометра на станции.

Описанный вид контроля введен как рутинный при генерации суточных SEED -архивов по станциям сети НЯЦ РК.

ЗАВИСИМОСТЬ МОДЕЛЕЙ ШУМА ОТ УСЛОВИЙ УСТАНОВКИ СЕЙСМОМЕТРОВ

Изучена зависимость спектра шумов от условий установки сейсмической аппаратуры, что важно для оптимального выбора площадок под будущие сейсмические станции. При регистрации шумов временными полевыми сейсмическими станциями на поверхности делаются предположения, что при размещении аппаратуры будущей сейсмической группы в скважинах глубиной 30 – 70 м, уровень шумов значительно снизится.

Этот вопрос экспериментально изучен на статистически представительных данных для площадок трех станций: А057- Боровое, PS23-Маканчи, А059- Актюбинск.

А057- Боровое

В Боровом данные о сейсмических шумах регистрировали три различные сейсмические установки:

- станция системы IRIS/IDA, установленная с 1994г. на центральном пункте Геофизической обсерватории Боровое. Это трехкомпонентная сейсмическая станция (BRVK) с сейсмометрами типа STS-1, размещенными в шахте глубиной 25 м.
- станция BV1, одна из временных станций с сейсмометром STS2, установленная на дневной поверхности в 2001 г. во время выбора площадок под будущую станцию Международной системы мониторинга AS057-Боровое (BVAR) . Измерения шума проводились на поверхности в течение нескольких суток.
- трехкомпонентная станция, входящая в состав действующей с 2002 г. станции AS057-Боровое. Ее сейсмометры CMG-3ТВ установлены в скважине глубиной 70 м.

По записям этих трех станций с использованием описанной выше методики были рассчитаны медианные спектры, показанные на рисунке 8.

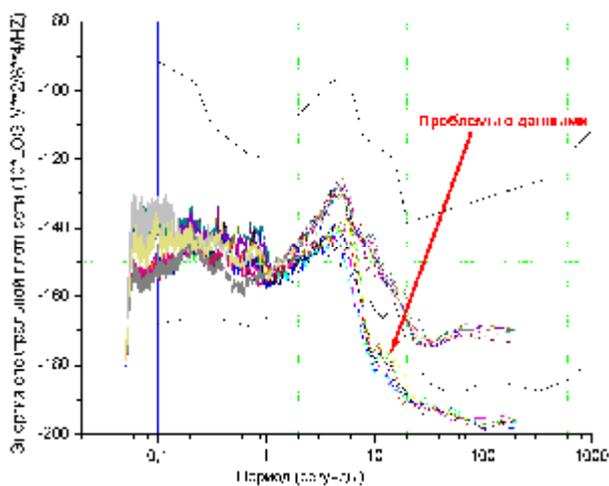


Рисунок 7. Выявление неполадки в работе аппаратуры по спектральным кривым сейсмических шумов. Станция А057- Боровое

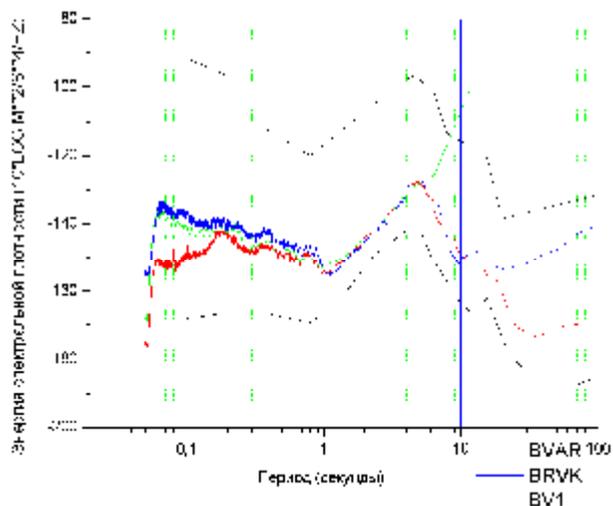


Рисунок 8. Спектральные кривые сейсмического шума по станциям BRVK-IRIS/IDA, BV1, А057- Боровое (BVAR)

Из рисунка 8 видно, что скважинные станции имеют преимущество, которое особенно сказывается в наиболее высокочастотной области. На периодах 0,06-0,16 с выигрыш в уровне шума достигает 10 - 18 дБ. С ростом периодов это преимущество становится меньше и практически исчезает при периодах, равных и более 1 с. На спектрах как скважинных, так и поверхностных станций, отмечаются узкополосные пики, например, на периодах 0,12 с (рисунки 8 и 9) они наблюдаются как в дневное, так и в ночное время. Это специфичные для данной площадки шумовые помехи, в природе которых предстоит разобраться дополнительно.

Погружение сейсмометров на глубину влияет не только на уровень шума, но и на его вариации. На записях скважинных приборов наблюдаются гораздо меньшие суточные вариации, чем на записях поверхностными станциями. Даже в шахте разница дневного и ночного шума существеннее, чем в скважине: диапазон вариаций на периоде 0,1 с почти в 2 раза больше. На рисунке 9 по медианным спектрам дано сравнение дневного и ночного шума на станциях BRVK (шахта) и BVAR-AS057 (скважина).

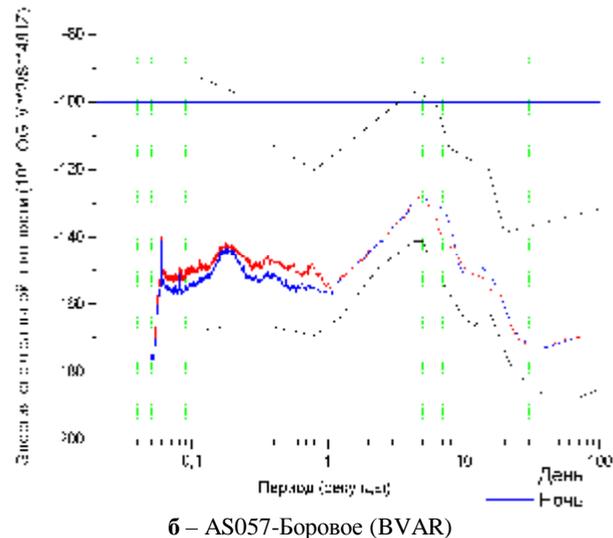
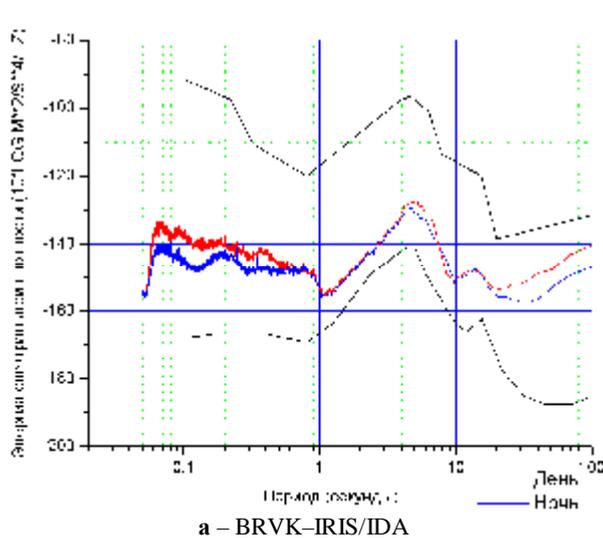


Рисунок 9. Сравнение дневных и ночных спектральных кривых сейсмического шума по станциям

PS23-Маканчи

В районе сейсмостанции PS23-Маканчи (MKAR) с 1996 г. работала станция MAKZ, входящая в систему глобальных сейсмических наблюдений IRIS/GSN. Сейсмометры этой станции STS-1 были установлены в штольне на отметке около 10 м от поверхности Земли. На станции MKAR сейсмометры помещены в скважину на глубину около 60 м. Сейсмические шумы по станции MAKZ изучались очень детально и описаны в [5]. Отмечена связь вариаций сейсмических шумов на этой станции с суточными и сезонными явлениями. На рисунке 10 приведены спектральные кривые дневного сейсмического шума по обеим станциям.

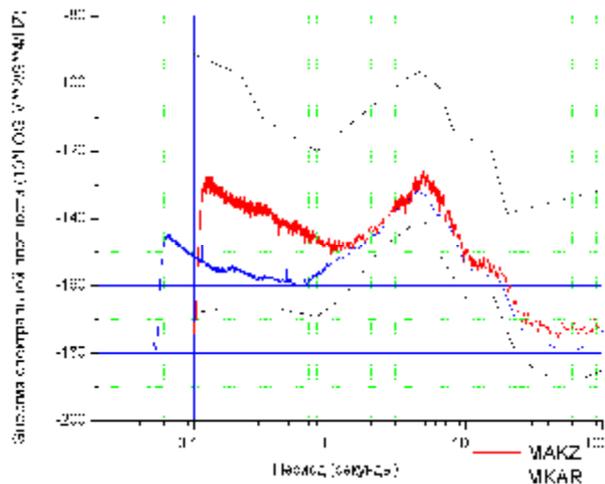
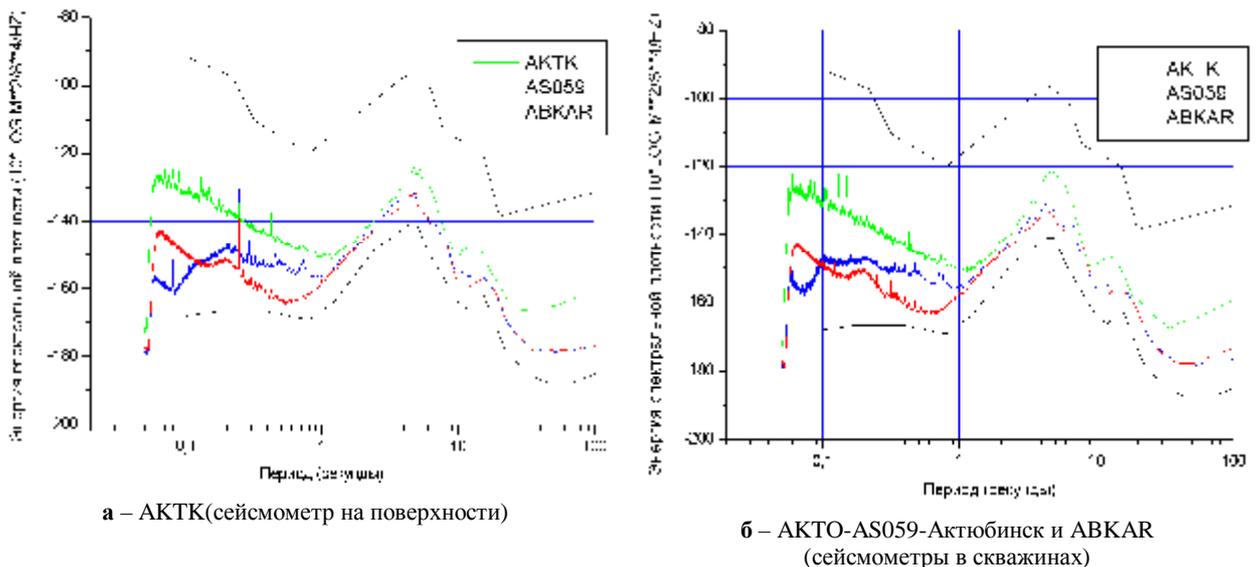


Рисунок 10. Спектральные кривые дневного сейсмического шума по станциям PS23-Маканчи (MKAR, сейсмометры в скважинах) и MAKZ-IRIS/GSN (сейсмометр в штольне)

Если сравнить медианные спектры шума по станциям, то можно сделать вывод, что заглубление сейсмометров в скважину дает существенное преимущество в уровне сейсмического шума в высокочастотной части спектра. На периодах в области 0,1 с различие уровней поверхностного и «глубинного» шума достигает 20 – 25 дБ. В области периодов более 1 с разница практически исчезает. Это означает, что высокочастотные шумы быстро затухают с увеличением глубины, а на больших периодах рост глубины от поверхности до 60 м-70 м практически не влияет на уровень шума.

A059- Актюбинск

Сейсмическая станция AS059-Актюбинск (АКТО) введена в эксплуатацию в 2005 г. Сейсмометр станции помещен в скважину глубиной 65 м. До этого на том же месте работала станция АКТК с сейсмометром, установленным на поверхности в специальном бункере. В Западном Казахстане с 2004 г. работает также станция Акбулак, где сейсмометры размещены в скважинах. Уменьшение уровня шума в связи с погружением сейсмометров в скважину (с учетом изменения типа сейсмометра и дигитайзеров) весьма существенно (рисунок 11).



а – АКТК(сейсмометр на поверхности)

б – АКТО-AS059-Актюбинск и ABKAR (сейсмометры в скважинах)

Рисунок 11. Спектральные кривые сейсмического шума по станциям:

Интегральный эффект на периодах менее 0,1 с составил почти 30 дБ: уровень шума в скважине меньше уровня на поверхности. На рисунке 11 видно, что уровень шума понизился во всем диапазоне исследуемых периодов, в том числе, и на периодах >5с. Если сравнить две скважинные станции Западного Казахстана – AS059-Актюбинск и Акбулак, то можно заметить, что на периодах < 0,8 с их спектральные кривые практически параллельны, уровень шума на станции Акбулаке примерно на 20 дБ ниже, чем на станции AS059-Актюбинске, что связано с удаленностью станции Акбулак от цивилизационных шумов.

Таким образом, на примере трех площадок показано, что расположение датчиков в скважине гарантирует уменьшение уровня сейсмического шума относительно расположения на поверхности в зависимости от периодов колебаний на 15-30 дБ. Максимальное уменьшение шума достигается на периодах в области 0,1 с. В меньшей степени шум уменьшается на периодах >1с. Значительно снижается и диапазон вариаций шума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценки параметров сейсмического шума по всем станциям НЯЦ РК свидетельствуют о прекрасных возможностях этих станций при проведении мониторинга ядерных взрывов и землетрясений. Модели шума близки к нижеуровневым мировым моделям сейсмического шума. Диапазон вариаций невелик.

Полученные модели начали использоваться в целях контроля за работоспособностью регистрирующих каналов. Этот подход является одним из аспектов созданной в Центре данных НЯЦ РК автоматизированной системы контроля за каналами регистрации, связи и т.д. Уже практически показано своевременное выявление неполадок в работе аппаратуры по расхождению рассчитанных спектральных кривых шума с модельными данными.

Количественная сравнительная оценка уровня шума при расположении сейсмометров на поверхности и в скважине на одной площадке или близко друг от друга показала, различие в уровнях, которое уменьшается с ростом периодов сейсмических колебаний. Наибольший выигрыш при размещении сейсмоприемников в скважине получен в области периодов 0,1 сек.

Все выводы и экспериментальные данные важны для повышения эффективности рутинных работ по сейсмическому мониторингу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синева, З.И. Обоснование апертуры новой сейсмической группы Боровое на основе корреляционного анализа сейсмических данных / З.И. Синева, Ю.О. Старовойт, Н.Н. Михайлова // Геофизика и проблемы нераспространения.: Вестник НЯЦ РК, 2001.- Вып. 2. - С. 52 – 56.
2. Беляшова, Н.Н. Динамические характеристики сейсмического шума по казахстанской сети станций ядерного мониторинга / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова, З.И.Синева, И.И. Комаров // Тез. докл. 2-й Международной. конференции по проблемам нераспространения ядерного оружия, 14-17 сентября 1998 г. Курчатов, 1998.
3. Михайлова, Н.Н. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций Казахской сети / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров, З.И. Синева, Г.С. Абдрахманова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2000.- Вып. 2. – С. 24 – 30